

MEMOIRE DE MASTER
UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR
Collège Sciences Sociales et Humanités
STAPS

Antoine KLEIN

Sous la direction de Frédéric NOE

**Effets chroniques en puissance sur le haut du corps d'un
programme d'entraînement de type contraste de charge
lourd-léger avec bandes élastiques Vs charges
traditionnelles chez des sportifs de haut niveau**

Année universitaire 2018-2019

Mémoire de master 2

Spécialité : EPPM



MEMOIRE DE MASTER
UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR
Collège Sciences Sociales et Humanités
STAPS

Antoine KLEIN

Sous la direction de Frédéric NOE

**Effets chroniques en puissance sur le haut du corps d'un
programme d'entraînement de type contraste de charge
lourd-léger avec bandes élastiques Vs charges
traditionnelles chez des sportifs de haut niveau**

Année universitaire 2018-2019

Mémoire de master 2

Spécialité : EPPM

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
PROBLEMATIQUE	20
METHODE	21
<i>APPROCHE EXPERIMENTALE</i>	21
<i>SUJETS</i>	22
<i>ENTRAINEMENT</i>	22
<i>EVALUATION</i>	23
<i>MATERIEL</i>	24
<i>ANALYSES STATISTIQUES</i>	24
RESULTATS	25
DISCUSSION	26
CONCLUSION	31
BIBLIOGRAPHIE	33
DECLARATION ANTI-PLAGIAT	39
ABSTRACT	40
KEYWORDS	40
RESUME	41
MOTS-CLES	41

INTRODUCTION

De nombreux sports nécessitent une puissance musculaire importante pour réaliser des performances de haut niveau. La puissance musculaire maximale est définie et limitée par la relation force-vitesse (Cormie, McGuigan & Newton, [partie 1], 2011). La puissance musculaire (P) représente un débit d'énergie exprimé en watt et correspond au niveau de force (F) développé sur une distance (d) et un temps (t) donnés ($P = F \times d/t$) ou, plus simplement, au produit de la force par la vitesse (V) ($P = F \times V$). La puissance maximale est atteinte à un niveau de force optimale et à une vitesse optimale, tous deux sous-maximaux. Etant donné que la force produite par un muscle varie en fonction de la vitesse à laquelle il se raccourcit, une augmentation de la force développée pour une vitesse identique engendre une élévation de la puissance musculaire. Et, une diminution du temps nécessaire à l'expression d'un niveau de force donné, sans modifier la distance à parcourir, engendre une majoration de la puissance musculaire. Cette seconde illustration renvoie directement à la notion du taux de développement de force. Le taux de développement de force a été reconnu comme étant un paramètre prédictif du niveau de performance d'un sportif (Joy, Lowery, Oliveira de Souza & Wilson, 2016). Cette notion, retrouvée sous le nom de RFD (Rate of Force Development) dans la littérature anglosaxonne, correspond à un indice de la force explosive, ou à l'explosivité en langage terrain, c'est-à-dire à la capacité du sportif à produire une grande force, à augmenter son niveau de force, le plus rapidement possible (Maffiuletti et al., 2016). Ce taux équivaut à la rapidité à laquelle un sportif peut développer sa force maximale (Stevenson, Warpeha, Dietz, Giveans & Erdman, 2010). Par conséquent, l'entraînement de la puissance musculaire est sous-tendu par le développement de deux qualités (la force musculaire maximale et la vitesse de raccourcissement des muscles) permis grâce à des adaptations physiologiques et neurophysiologiques.

La production de puissance maximale est influencée par des facteurs physiologiques. La relation tension-longueur, au côté de la relation force-vitesse, affecte la puissance musculaire développée. D'après la revue de littérature de Cormie et al. (2011), quelle que soit la stimulation considérée, la force produite par le muscle dépend de la longueur à laquelle le muscle se trouve au moment de son activation. Une longueur de sarcomère optimale existe permettant l'établissement d'un maximum de ponts d'union entre l'actine et la myosine. Plus ce nombre de ponts d'union est élevé, plus la force développée augmente. De plus, le type de contraction modifie les niveaux de puissance produits et les mouvements mettant en jeu le cycle étirement-raccourcissement sont les plus propices à la production de puissance maximale. Ces mouvements permettent d'emmagasiner et de restaurer davantage d'énergie élastique. Durant ces mouvements, les matières contractiles agissent comme des générateurs de hauts niveaux de force à de faibles vitesses de raccourcissement et les matières élastiques jouent un rôle de redistributeur d'énergie et d'amplificateur de la puissance produite. Grâce à ces mouvements, une potentiation des matières contractiles que sont l'actine et la myosine et des matières élastiques telles que la titine ou la nebuline ainsi qu'une activation des réflexes spinaux autorisent un développement de puissance supérieur. Des facteurs neurophysiologiques viennent donc également conditionner la puissance produite. D'après Van Cutsem, Duchateau et Hainau (1998), un entraînement en puissance mène à une amélioration des contractions maximales volontaires du muscle grâce à ces adaptations neurales. L'ordre de recrutement des unités motrices (principe de taille d'Henneman) reste inchangé mais les unités motrices sont activées plus rapidement avec une atteinte plus précoce du pic de force. Ces effets sont dus à une baisse du seuil de recrutement des unités motrices de type II, c'est-à-dire celles au potentiel de force le plus élevé. Chaque unité motrice possède une fréquence de décharge beaucoup plus forte. Le recrutement temporel est ainsi

beaucoup plus efficace avec des tensions supérieures atteintes. Aussi, la coordination intermusculaire est améliorée. Tous ces mécanismes conduisent à une augmentation du taux de développement de force (RFD). Cette augmentation du RFD rend la courbe force / vitesse moins concave grâce à une augmentation de la vitesse produite pour une force donnée ou inversement. On peut également noter une amélioration de la synchronisation des unités motrices mais qui d'après Van Cutsem et al. n'a pas d'effet sur l'augmentation de la puissance. Au contraire même, ce mécanisme pourrait avoir un impact négatif sur le taux de développement de force (RFD). Enfin, des facteurs morphologiques modifient le potentiel de puissance d'un athlète : le type de fibres et leurs distributions, l'architecture musculaire (la surface de section, l'angle de pennation, la longueur des faisceaux), les propriétés tendineuses.

Cibler tous ces mécanismes physiologiques et neurophysiologiques est donc l'objectif de nombreux entraîneurs et préparateurs physiques désireux de voir leurs athlètes réussir. Tous les sports où les accélérations entraînent une action gagnante (sports de combats, sports collectifs, haltérophilie, sports de raquettes, etc.) impliquent l'expression d'une grande puissance. A titre d'exemple, un boxeur doit être capable de déclencher et développer ses coups avec une grande vitesse pour surprendre son adversaire, et, il doit parallèlement être capable de générer une force importante à cette vitesse pour que ses coups soient efficaces et déstabilisent davantage son adversaire. Or, au niveau de l'entraînement et de la préparation physique, la complexité des calendriers n'autorise pas toujours la garantie de pouvoir améliorer ces qualités de force et de vitesse. Il convient alors de se tourner vers des méthodes d'entraînement stimulant conjointement ces deux paramètres essentiels à la puissance. Une des méthodes les plus utilisées est le contraste de charge.

Le contraste de charge correspond à l'exécution de séries d'exercices combinant deux mouvements entrecoupés d'une période de récupération plus ou moins longue : un premier mouvement de force, appelé pré-exercice, immédiatement suivi d'un exercice léger réalisé avec une intention de vitesse maximale aux caractéristiques biomécaniques similaires (Carter & Greenwood, 2014). Le contraste de charge peut se décliner de plusieurs manières : lourd-léger et méthode Bulgare (alternance de charge sur un même exercice ou un exercice similaire avec ou sans délai de récupération), entraînement complexe (alternance exercice lourd avec exercice pliométrique proche de l'activité). La méthode la plus classique est le lourd-léger. Le lourd-léger vise l'alternance sur une série d'un pré-exercice (par exemple le développé-couché) avec charge lourde suivi du même exercice avec une charge plus légère à vitesse maximale. Pour Carter et Greenwood (2014), ce type de série permet une amélioration des performances de puissance sur l'exercice léger supérieure à ce qui se produirait en l'absence de pré-exercice. Le contraste de charge fait appel aux propriétés physiologiques et neuromusculaires pour permettre à l'athlète de développer davantage de puissance sur l'exercice léger (Baker, 2003). Le phénomène central sur lequel repose l'efficacité de cette méthode est la Post-Activation Potentiation (PAP).

La Post-Activation Potentiation (PAP) est induite par une sollicitation musculaire volontaire proche d'une intensité maximale avant l'exécution d'un exercice de nature explosive. C'est un phénomène par lequel la performance musculaire est momentanément augmentée en résultat de l'histoire contractile du muscle (Gossen & Sale, 2000 ; Hodgson, Docherty & Robbins, 2005). Selon Tillin et Bishop (2009) et Hodgson et al. (2005), deux principaux mécanismes sont responsables de la PAP. Le premier correspond à la phosphorylation des chaînes légères régulatrices de la myosine (MCL2), sollicitées lors du pré-exercice, via la Myosin Light Chain Kinase (MLCK). La MCLK augmente la sensibilité de l'actine-myosine au calcium (Ca^{2+}) libéré par le réticulum

sarcoplasmique. L'augmentation de cette sensibilité au calcium est due à une modification conformationnelle et structurelle de la tête de myosine et conduit à une augmentation du nombre de ponts d'union actine-myosine pouvant être activés. Dans cet état, la réponse musculaire pour une sollicitation et une contraction même à basse fréquence est davantage marquée, grâce à une augmentation de la vitesse de contraction et de la tension générée dans le muscle, soit du RFD (Baudry & Duchateau, 2007). Le second mécanisme également mis en verve par Tillin et Bishop (2009) et Hodgson et al. (2005) se situe au niveau neural et plus précisément des synapses. L'activation répétée des synapses suite à un exercice occasionne une sorte de plasticité synaptique. Ce phénomène se produit lorsque plusieurs potentiels d'action, en successions rapides, entrent dans les terminaisons présynaptiques. Le potentiel d'action libère ainsi plus de neurotransmetteurs et, de ce fait, en résulte une augmentation prolongée des niveaux de calcium présynaptique et une augmentation de la transmission de la force synaptique. Le recrutement des unités motrices est donc augmenté, en particulier celles des plus grosses unités innervées par des motoneurones alpha. Le RFD est améliorée et le temps pour atteindre la force maximale est diminué. D'autres mécanismes existent mais avec un impact minime sur la PAP produite. C'est le cas par exemple des modifications de l'angle de pennation du muscle. L'angle de pennation d'un muscle correspond à l'orientation des fibres musculaires par rapport aux tendons et tissus. Une étude de Mahlfeld, Franke et Awiszus (2004) a montré une diminution transitoire de cet angle après un pré-exercice. Sachant que des muscles aux angles de pennation faibles sont plus avantageux pour la transmission de force, un effet potentiateur est encore une fois bien associé au pré-exercice. L'angle de pennation peut donc être une méthode pour mesurer de l'activation d'un muscle. D'une manière générale, il n'y aucune preuve avérée justifiant que la PAP peut augmenter la force maximale (Güllich & Schmidtbleicher, 1996). Elle ne semble avoir que très peu

d'effet sur les valeurs extrêmes de la courbe force / vitesse (Gossen & Sale, 2000). En revanche, en 2016, Lim et Barley ont montré un impact positif de la PAP sur le RFD des muscles ciblés. Schneiker, Fyfe, Billaut et Bishop (2018), en constatant uniquement un effet de la PAP sur l'accélération, rejoignent Lim et Barley et justifient le fait que la PAP permet d'augmenter le RFD.

Le contraste de charge et le pré-exercice engendrent inévitablement une fatigue qui peut avoir un effet négatif sur l'exercice subséquent (Docherty & Hodgson, 2007 ; Tillin & Bishop, 2009 ; Bevan, Owen, Cunningham, Kingsley & Kilduff, 2009). C'est la balance entre fatigue et potentiation qui va déterminer les effets positifs ou non du pré-exercice sur la performance de l'exercice explosif.

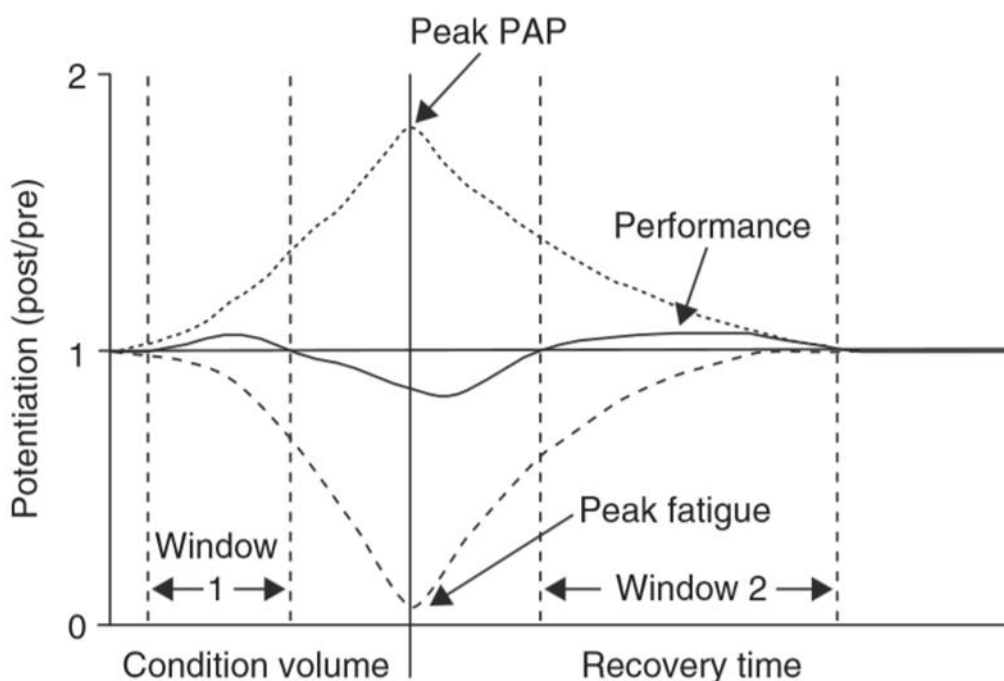


Figure 1 : Modèle hypothétique de la relation fatigue / potentiation après un pré-exercice d'après Tillin et Bishop (2009)

D'après Tillin et Bishop (2009), après un pré-exercice de faible volume, la potentiation est supérieure à la fatigue et un exercice subséquent peut être immédiatement réalisé avec une performance augmentée. Lorsque le volume du pré-exercice s'élève, la fatigue causée est

importante et prend le dessus par rapport à la PAP. Les performances sont diminuées ou inchangées dans ces situations (Docherty & Hodgson, 2007). Mais, la fatigue s'atténue plus rapidement que la PAP et une performance accrue peut être réalisée sur un exercice subséquent à un moment donné de la période de récupération, lorsque la PAP est toujours présente. La relation fatigue / potentiation est donc complexe. Actuellement, il n'y a pas de consensus sur le délai optimum de récupération intra-série, c'est-à-dire sur le temps nécessaire devant s'écouler entre le pré-exercice et l'exercice subséquent.

Pour Sotiropoulos, Smilios, Douda, Christou et Tokmakidis (2014), le délai de récupération intra-série dépend essentiellement de facteurs individuels et de l'intensité du pré-exercice. Plus le niveau d'entraînement de l'athlète est élevé, plus le temps de récupération nécessaire est faible. Plus la charge du pré-exercice est faible, plus le temps de récupération est diminué. Liossis, Forsyth, Liossis et Tsolakis (2013) ont mis en avant ce critère. Ils ont testé dans leur étude portant sur le développé-couché et des athlètes d'arts martiaux plusieurs intensités et plusieurs durées de récupération intra-série. Ils ont trouvé une puissance moyenne augmentée pour le groupe 65% RM x 5 + 4 minutes de récupération intra-série et 85% RM x 5 + 8 minutes. Ainsi, un pré-exercice à charge modérée implique un temps de récupération moyen, et un pré-exercice à charge lourde nécessite un temps de récupération long. Ils ont également montré que 65% RM x 5 + 8 minutes et 85% x 5 + 4 minutes induisaient une diminution des performances. Hrysomallis et Kidgell (2001) n'ont pas non plus montré d'améliorations après un pré-exercice lourd à 85% x 5 et 4 minutes de récupération. Ces délais de récupération ont aussi été testés chez des rugbymen professionnels, toujours sur l'exercice du développé-couché. En effet, Bevan et al. (2009) ont testé plusieurs conditions de récupération à partir d'une même charge et intensité : 15 secondes, 4 minutes, 8 minutes, 12 minutes et 20 minutes. Les résultats montrent une augmentation significative des

performances avec 8 minutes de récupération mais démontrent aussi d'importantes variations interindividuelles. Pour 58% de ces rugbyemen, le pic de puissance est atteint après 8 minutes, pour 26% à 12 minutes, pour 12% à 16 minutes et pour 4% à 4 minutes. Un consensus est donc difficile à trouver. Une chose est évidente, c'est que cette durée dépend en grande partie des caractéristiques de l'athlète et que l'exercice ne doit pas être réalisé immédiatement après le pré-exercice. Kilduff et al. (2007) dans une étude sur des rugbyemen professionnels, ont montré qu'un délai de 15 secondes intra-série conduisait à une diminution des performances. Gossen et Sale (2000) ont remarqué une baisse des performances de vitesse après 15 secondes de récupération intra-série. Pour Jensen et Ebben (2003), 10 secondes de récupération sont clairement insuffisantes et ils préconisent un délai de 1 à 4 minutes pour voir les performances augmenter. Lim et Barley, dans une revue de littérature parue en 2016, conseillent 3 à 4 minutes intra-séries. D'autres études (Güllich & Schmidtbleicher, 1996 ; Kilduff et al., 2007 ; Bevan et al., 2009) vont plus loin et estiment que 6 à 7 minutes sont nécessaires. En revanche, toutes les études (Comyns, Harrison, Hennessy & Jensen, 2006 ; Lim & Barley, 2016) s'accordent sur le fait que la récupération inter-série doit être longue et complète (environ 5 minutes) afin de rétablir les stocks énergétiques (ATP et PCr).

Si l'intensité de la charge modifie la durée de récupération nécessaire, elle module aussi l'ampleur de la PAP. Matthews, O'Conchuir et Comfort (2009), à travers une étude sur des basketteurs et le développé-couché, ont stipulé que seuls des pré-exercices à charges élevées (> 80% RM) impulsés le phénomène de PAP. Gołaś, Maszczyk, Zajac, Mikołajec et Stastny (2016) proposent une intensité comprise entre 75-90% RM pour induire les mécanismes de la PAP. Tillin et Bishop (2009) rejoignent ces dires et préconisent des pré-exercices proches des possibilités maximales du sujet pour optimiser ce phénomène de PAP. Pour Docherty et Hodgson (2007), une

contraction volontaire à une charge de moins de 75% RM induit aucune potentiotion. Duthie, Young et Aitken (2002) ne trouvent aucune potentiotion au niveau neural pour une intensité inférieure à 85%. Chaouachi et al. (2011) se sont intéressés à plusieurs variables de volume et d'intensité concernant un pré-exercice de squat avant la réalisation de sauts verticaux : 10 x 70% RM, 5 x 70% RM, 5 x 85% RM, 3 x 85% RM, 3 x 90% RM, 1 x 90% RM. Il ressort de leur étude que les protocoles utilisant 5 x 70% RM et 3 x 85% RM en guise de pré-exercice sont les plus avantageux. Le 5 x 70% RM permet une potentiotion de la puissance moyenne et maximale et de la vitesse maximale. Le 3 x 85% RM, lui, augmente les paramètres de puissance, force et vitesse maximales. Ces données ont été enregistré sur des durées d'intervalles de récupération comprises entre 1 et 5 minutes. Au-delà de 5 minutes, cet effet potentioteur s'efface. Le 10 x 70% RM, 5 x 85% RM et 3 x 90% RM semblent induire une fatigue trop importante qui ne peut être compensée qu'à partir d'une récupération longue et dont l'effet sur la potentiotion sera moindre par rapport aux autres conditions testées. D'autres études ont utilisé des charges plus légères égales à 65% RM sur le développé-couché comme Baker (2003) ou entre 30 et 60% RM sur le squat pour Smilios, Pilianidis, Sotiropoulos, Antonakis et Tokmakidis (2005) et ont aussi démontré des améliorations de performance. La PAP à partir de charges légères mobilisées rapidement existent donc mais ses effets sont moins marqués et dépendent des caractéristiques individuelles avec des athlètes qui gagnent énormément de puissance et d'autres non.

Les caractéristiques de l'athlète influencent l'apparition de la PAP. Parmi elles, on peut noter le niveau de force musculaire (Young, Jenner & Griffiths, 1998 ; Duthie et al., 2002 ; Baker, 2003 ; Seitz, de Villarreal & Haff, 2014), la distribution des fibres (Hamada, Sale, MacDougall & Tarnopolsky, 2000 ; Tillin & Bishop, 2009), l'état d'entraînement (Chiu et al., 2003), le ratio puissance / force (Schneiker et al., 2018). Le phénomène de PAP apparait en effet de manière plus

marquée chez les athlètes possédant des hauts niveaux de force. Par exemple, Baker dans son étude de 2003 sur 16 rugbymen avec de l'expérience en musculation, a montré que les deux joueurs possédant la force maximale la plus élevée en développé-couché sont les deux joueurs qui ont eu la plus grande amélioration de puissance sur l'exercice léger après le pré-exercice. Chez eux, des gains de 6,8% en puissance ont été observés par rapport aux résultats obtenus en l'absence de pré-exercice. Rixon, Lamont et Bembien (2007) ont montré l'efficacité de la PAP chez des powerlifters de haut niveau. Plus un sujet possède une force maximale (1 RM) élevée, plus il peut induire une réponse importante de la PAP. Il existe une relation linéaire entre la force musculaire et le pourcentage de fibres de type II et c'est pour ce type de fibres que la phosphorylation des chaînes légères régulatrices de la myosine s'améliore le plus après un pré-exercice. Les sujets avec davantage de fibres rapides (type II) ont une réponse à un exercice potentiateur plus marquée. Ces propos rejoignent ceux de Lim et Barley (2016). Selon eux, les athlètes « forts » et entraînés semblent bénéficier d'un effet potentiateur plus accentué du fait d'une meilleure résistance à la fatigue induite par la série lourde. Enfin, le dernier facteur à connaître et à prendre en compte est le ratio puissance / force de l'athlète mis en lumière par Schneiker et al. en 2018. Selon eux, plus le ratio puissance / force de l'athlète est faible à la base, plus la série lourde impacte positivement la performance sur la série légère. A l'inverse, si l'athlète possède un ratio puissance / force élevé, on remarque une baisse de ses performances en termes de puissance maximale sur la série légère. Ainsi, les athlètes capables de produire des hauts niveaux de puissance relative à leur force maximale (1RM) ne semblent pas bénéficier des effets du contraste de charge et peuvent même obtenir des résultats négatifs (à cause d'une diminution de la capacité à générer de la force (effet de la fatigue), contre une augmentation de l'expression de vitesse et du RFD chez les sujets avec un faible niveau de puissance relative développée à leur force maximale). Par conséquent, ces

résultats rejoignent ceux des études précédentes. Les athlètes au ratio puissance / force faible, c'est-à-dire les athlètes « forts », bénéficient d'un effet potentiateur plus marqué.

Grâce au phénomène de PAP, la méthode par contraste de charge peut donc amener l'athlète à augmenter ses qualités de puissance si toutefois chaque paramètre est parfaitement adapté. Sur un cycle d'entraînement à long terme, le contraste de charge offre des adaptations chroniques semblables à celles d'un cycle de puissance (Santos & Janeira, 2008 ; Carter & Greenwood, 2014). Lim et Barley ont considéré que ce type d'entraînement engendrait des gains de puissance mais uniquement sur le bas du corps. Juarez, Gonzalez Rave et Navarro (2009) ont comparé les effets chroniques d'un cycle d'entraînement de 8 semaines de contraste de charge avec un cycle d'entraînement conventionnel (résistance classique) sur la force et la puissance du bas du corps. Les deux cycles ont permis une amélioration des performances de force maximale et de puissance maximale sans différence significative entre chaque protocole. Santos et Janeira (2008) ont eux réussi à montrer des effets positifs du contraste de charge aussi bien sur le bas que sur le haut du corps chez des jeunes joueurs de basket-ball. Ces effets positifs du contraste de charge étaient sensiblement égaux à ceux issus d'un entraînement classique en force et en pliométrie. Stanisaki et al. (2015) se sont intéressés aux adaptations morphologiques et musculaires après un cycle de 6 semaines de contraste de charge comparé à un cycle d'entraînement combinant force et puissance sur des jours séparés. D'après eux, la composition des fibres musculaires n'a été modifiée pour aucune des deux conditions mais la surface de section a été augmenté pour le groupe en contraste de charge. De même, la longueur des faisceaux des gastrocnémiens a été diminué pour ce groupe. Les auteurs en ont donc conclu qu'un entraînement en contraste de charge engendrait des gains en force et en hypertrophie alors que l'entraînement combiné force – puissance engendrait des gains de puissance. Les effets à long terme du contraste

de charge sont donc encore discutés. Pour Schneiker et al. (2018), sur des séries multiples et répétées dans le temps, il y a peu d'évidence sur les effets positifs du contraste de charge. Ils constatent juste que, sur la première série, les performances sont augmentées mais qu'une baisse se produit au fil des séries. Seule la première série serait donc efficace et permettrait d'entraîner l'athlète à des valeurs de puissance supérieures. A terme, ses capacités de productions de puissance maximale seraient augmentées. Quoiqu'il en soit, aucune étude n'a montré des résultats contre-productifs concernant le contraste de charge et il s'avère être une méthode efficace.

Un entraîneur ou préparateur physique doit être capable de contrôler et harmoniser tous ces facteurs pour tirer le meilleur de chaque athlète. De cette façon, pour maximiser le phénomène de PAP, une méthode peut consister en l'ajout de résistance élastique sur le pré-exercice en plus des charges traditionnelles. Ces bandes élastiques s'inscrivent comme une forme d'entraînement à résistance variable. L'entraînement à résistance variable (Variable Resistance Training : VRT) permet de s'aligner avec la courbe de la force humaine et les capacités musculaires du sportif. D'après Israetel, McBride, Nuzzo, Skinner et Dayne (2010), les élastiques augmentent la charge et la tension là où les muscles sont les plus forts (portions hautes) et diminuent la charge sur les portions basses où les muscles sont les moins forts. En effet, il est important de savoir que la force humaine est influencée et dépend des angulations articulaires et des différents bras de levier. D'après Mc Master, Cronin et Mc Guigan (2009), la courbe de la force humaine se dissocie en 3 catégories : ascendante, descendante, en cloche. Les mouvements qui requièrent une force maximale à la fin de la phase concentrique (tirage planche par exemple) possèdent une courbe descendante. Les mouvements mono-articulaires tels que le biceps curl ou leg-extension ont une courbe en cloche. Les mouvements poly-articulaires mettant en jeu le cycle étirement-

raccourcissement comme le développé-couché, le squat, les mouvements d'haltérophilie sont eux caractérisés par une courbe ascendante. L'intérêt des bandes élastiques vient sur ces exercices à courbes ascendantes. Les élastiques viennent s'aligner sur cette courbe de la force en augmentant progressivement la résistance et le recrutement au fil du mouvement. La résistance est maximale au moment de l'extension finale, aux points les plus avantageux où l'homme est théoriquement capable de produire la plus grande force. Les bandes élastiques permettent de s'attaquer aux capacités d'accélération du sujet. Le sujet est obligé de produire une accélération jusqu'à la toute fin du mouvement, et pas seulement sur les premiers temps de la phase concentrique. Cet entraînement à résistance variable apporte de plus grandes adaptations neuromusculaires qu'un entraînement avec charges traditionnelles avec une activité plus élevée au niveau électromyographique (EMG) et un recrutement d'unités motrices plus important sur la phase excentrique (Rivière, Louit, Strokosch & Seitz, 2017). Les bandes élastiques augmentent la force développée, la puissance et l'activité musculaire surtout sur le début de la phase excentrique et la fin de la phase concentrique. De nombreuses études se sont intéressées spécifiquement à cette phase excentrique. Dès 2006, dans une thèse consacrée à l'entraînement à résistance variable, Ghigiarelli insistait sur l'impact majeur des bandes élastiques lors de la phase excentrique. Sur cette phase, la tension élastique génère un meilleur recrutement des fibres de type II. Pour Wilson et Kritz (2014), les bandes élastiques augmentent la charge excentrique en tirant sur la charge et obligeant l'athlète à ralentir et stopper la barre à la fin de cette phase excentrique. Cette étape excentrique permettrait d'emmagasiner plus d'énergie élastique, d'améliorer le cycle étirement-raccourcissement et donc de restituer plus de force sur la phase concentrique. Ces bandes créent un travail en survitesse sur la phase excentrique qui améliore l'efficacité de ce cycle. In fine, cette survitesse entraîne une majoration de la force concentrique développée.

L'étude réalisée par Stevenson, Warpeha, Dietz, Giveans et Erdman en 2010 vient quelque peu contredire ces effets liés au cycle étirement-raccourcissement. Selon eux, et comme pour Israetel et al. (2010) et les études précédentes, le pic de vitesse dans la phase excentrique et le taux de développement de force concentrique sont bien significativement plus élevés avec l'utilisation de bandes élastiques. Cependant, ils ont montré que ces élastiques empêchent le développement de vitesse sur la phase concentrique. Par conséquent, on ne retrouve pas un effet étirement-raccourcissement supérieur avec les bandes élastiques. Les taux de développement de force au moment de la transition excentrique-concentrique sont égaux avec ou sans élastique. Cela signifie qu'il n'y a pas de potentiation de l'effet étirement-raccourcissement avec élastique car, à ce moment précis, la tension élastique est au plus bas et la charge est donc la même pour les deux conditions. Aussi, ces chercheurs ont remarqué un pic de puissance identique pour les deux conditions mais atteint de différentes manières. Sans élastique, on constate une vitesse importante et une faible force à ce point, alors qu'avec élastique, on constate une faible vitesse mais une force développée élevée pour atteindre ce point. Ainsi, l'entraînement avec élastique ne permet pas des gains supplémentaires en vitesse mais uniquement en force.

Ghigiarelli a confirmé ces résultats. Il a établi deux groupes dans sa thèse : un groupe contrôle et un groupe avec résistance élastique. D'après cet auteur, l'entraînement avec élastique a permis des améliorations en force et celui sans élastique des améliorations en vitesse. L'auteur conclue donc que l'utilisation combinée dans un cycle d'élastiques et de charges traditionnelles permet d'augmenter la puissance du haut du corps. L'étude de Joy et al. (2016), sur des joueurs de basket-ball de 2^{ème} Division du championnat universitaire américain (NCAA), a repris les mêmes modalités (deux groupes : un contrôle et un expérimental) sur un cycle de 5 semaines. Durant ce protocole, les joueurs ont effectué 4 séances de musculation par semaine (2 de puissance, 1 de

force, 1 d'hypertrophie), dont une de puissance spécialement dédiée à la résistance élastique pour le groupe expérimental. Après entraînement, ces chercheurs ont trouvé un taux de développement de force (RFD) plus important pour le groupe avec bandes élastiques. De même, ce groupe a eu de plus grandes améliorations de la force maximale (1RM) sur le squat (+26,63 % contre +20,03), le développé-couché (+7,72 % contre +3,3) ainsi que sur la détente. Globalement, le groupe à résistance élastique a eu des adaptations plus rapides que le groupe contrôle sur l'ensemble des paramètres évalués. Tous ces résultats rejoignent bien ceux trouvés par Soria-Gila, Chiroso, Bautista, Baena et Chiroso dans leur méta-analyse réalisée en 2015 sur les effets au long terme des programmes d'entraînement avec résistance élastique. Pour eux, les gains de force maximale (1 RM) sont significativement plus élevés chez les athlètes ayant utilisés les bandes élastiques par rapport aux athlètes soumis à l'entraînement traditionnel. Ils préconisent d'utiliser des charges autour de 65-85% RM dont 20-35% fournies par l'ajout d'élastiques. Le contraste de charge avec d'un côté l'utilisation d'un pré-exercice de force avec élastique et de l'autre un exercice à vitesse maximale sans élastique paraît donc constituer un enchaînement idéal pour l'expression de puissance. A ce jour, très peu d'études se sont intéressées aux bénéfices potentiels d'un pré-exercice avec élastique. Un groupe de chercheurs y a consacré deux études. Mina, Blazeovich, Giakas et Kay en 2014, ont d'abord étudié les effets des bandes élastiques sur la PAP avant l'évaluation de la force maximale sur le squat. Ils ont ainsi montré que l'utilisation de bandes élastiques sur un pré-exercice d'échauffement engendraient une activation du système neuromusculaire permettant une amélioration des performances sur les exercices de force maximale réalisés subséquentement. Les bandes élastiques impulsent le mécanisme de la PAP dans des proportions supérieures à celles d'un échauffement avec charges traditionnelles. Toutefois, ces sollicitations doivent être proches des possibilités maximales de force de l'athlète. En 2019,

Mina et al. ont ensuite étudié les effets de bandes élastiques sur la PAP mais cette fois-ci avant la réalisation d'un exercice de puissance (Counter Movement Jump) en utilisant différentes conditions. Les athlètes ont eu à réaliser, sur deux jours distincts, trois Counter Movement Jump maximaux soit après un pré-exercice d'échauffement de trois squats à 85% RM avec charges traditionnelles (condition 1), soit après un pré-exercice d'échauffement de trois squats à 85% RM dont 35% fournis par des bandes élastiques (condition 2). Différents temps de récupération entre le pré-exercice et les Counter Movement Jump ont été testés. Les résultats montrent des améliorations de performances pour les athlètes ayant utilisé les bandes élastiques en guise d'échauffement dans toutes les conditions (après 30 secondes, 4 minutes, 8 minutes et 12 minutes de récupération), contre aucune augmentation pour les athlètes avec charges traditionnelles. La puissance maximale, le taux de développement de force (RFD), la vitesse maximale concentrique et l'activité moyenne du vaste latéral ont été augmentés. Néanmoins, ces études ont été réalisées chez des sujets actifs et non des athlètes de haut niveau. Et, surtout, elles ne sont intéressées qu'aux effets aigus et personne ne s'est intéressée aux effets chroniques.

PROBLEMATIQUE

Le but de cette étude est donc de préciser les effets chroniques d'un programme de type contraste de charge lourd-léger utilisant des bandes élastiques chez des sportifs de haut niveau. L'objectif est de voir si l'utilisation de bandes élastiques amplifie vraiment le rendement de la PAP par rapport à de simples charges traditionnelles. Compte-tenu de l'efficacité plus marquée des bandes élastiques sur le recrutement d'unités motrices et le développement de force chez des sujets actifs, l'hypothèse formulée est que la PAP sera accentuée avec élastique et que cet effet

va permettre un développement de puissance plus important sur la série légère comparativement à un programme sans élastique, avec des effets chroniques associés plus marqués.

METHODE

Approche expérimentale

Cette étude vise à tester les effets chroniques d'un cycle d'entraînement de 6 semaines en contraste de charge sur le développé-couché en utilisant deux modalités différentes. Elle repose sur l'analyse des performances de force maximale, vitesse maximale et puissance maximale développées par chaque sujet sur un test réalisé à deux moments distincts : un test pré-protocole et un test post-protocole. Les sujets s'engagent à suivre la totalité du cycle composé d'une séance et 4 séries par semaine suivant deux conditions :

- Groupe EL : avec élastique sur le pré-exercice lourd,
- Groupe SE : sans élastique sur le pré-exercice lourd.

La force maximale (1 RM) développée par chaque sujet sur une barre libre et sur l'exercice du développé-couché est évaluée au préalable. Le développé-couché se réalise à amplitude maximale, avec un départ bras tendus, une phase excentrique ponctuée par le contact barre – poitrine, et une extension complète des bras à la fin de la phase concentrique. Les paramètres de force, de vitesse et de puissance maximales sont enregistrés à l'aide d'un encodeur linéaire. Pour la condition avec élastique, ces derniers sont attachés de part et d'autre de la barre de manière à fournir une résistance égale à 25% de la charge totale.

Sujets

16 jeunes joueurs de rugby de haut niveau en centre de formation (âge moyen = $19,5 \pm 1,5$ ans ; taille = $1,84 \pm 0,06$ m ; poids = $93,7 \pm 13,3$ kg) avec plus de deux années d'expérience en renforcement musculaire ont participé volontairement à cette étude. Ils ont été divisés en 2 groupes de 8 joueurs qui ont suivi un cycle d'entraînement de puissance en contraste de charge d'une durée de 6 semaines sans utiliser d'élastique (groupe SE) et en utilisant des élastiques (groupe EL). Ces sujets étaient en bonne santé, ne présentaient aucune blessure récente ou importante au niveau du haut du corps (épaules et bras prioritairement). Il leur a été demandé de conserver leurs habitudes alimentaires et d'entraînement tout au long de l'étude et de ne pas prendre de produits complémentaires stimulants 48 heures avant chaque séance test.

Entraînement

Le protocole d'entraînement de 6 semaines consistait en la réalisation, une fois par semaine, de 4 séries de développé-couché suivant deux modalités :

- Groupe EL → 3 répétitions à 85% RM avec élastique + 5 répétitions à 30% RM
- Groupe SE → 3 répétitions à 85% RM sans élastique + 5 répétitions à 30% RM

Les temps de récupération étaient les mêmes d'une modalité à l'autre avec 1 minute de récupération intra-série entre le pré-exercice lourd et l'exercice léger et 5 minutes inter-séries. Chacune de ces séries était réalisée avec une intention de vitesse maximale. Tous les paramètres de l'entraînement (fréquence, intensité, récupération) étaient identiques, seul l'ajout d'élastique sur le pré-exercice lourd pour le groupe EL venait différencier les deux modalités.

Des élastiques de la marque Sci-Sport ont été utilisés pour réaliser le programme d'entraînement du groupe EL. Les bandes élastiques sont positionnées de chaque côté de la barre de musculation. Ces élastiques sont ancrés directement au bas du rack (Cybex). Deux tailles d'élastiques ont été sélectionnées : S (jaune) et M (orange). Ces deux types d'élastiques permettent d'appliquer les 25% de tension nécessaire (Soria-Gila et al., 2015 ; Wallace, Bergstrom & Butterfiel, 2018). En effet, un tableur créé par Sci-Sport définit les élastiques à choisir, leur longueur nécessaire avant étirement et la charge à utiliser sur la barre pour que la charge en position de départ et finale (bras tendus) soit parfaitement égale à 85% RM dont 25% fournie par résistance élastique.

Evaluation

La force maximale (1 RM) de chaque sujet sur le développé-couché a été évaluée une semaine avant le début du protocole (Pré) et une semaine après la fin du protocole (Post). Cette évaluation a consisté en un échauffement progressif sur des charges montantes jusqu'à la réalisation de séries d'une répétition et l'atteinte de l'échec. La dernière performance réussie a été retenue comme la 1 RM du joueur. Cette définition de la 1 RM a permis d'ajuster au mieux les charges de travail pour les tests pré et post-protocole et pour le cycle d'entraînement.

La force maximale, la vitesse maximale et la puissance maximale développées à différents pourcentages de la 1 RM ont été mesurées avant (Pré) et après (Post) la période de 6 semaines d'entraînement. Les joueurs ont eu à accomplir une série à 30% RM, une à 50% RM, une à 60% RM et une à 80% RM avec une intention de vitesse maximale.

Matériel

Un encodeur linéaire portable (GymAware, Kinetic Performance Technology, Australie) a été utilisé pour déterminer la puissance maximale et la vitesse maximale développées par les sujets. La force maximale développée par les sujets durant le mouvement à un niveau de charge donnée est, elle, calculée automatiquement a posteriori par l'utilisation de la 2^{ème} Loi de Newton et le Principe Fondamental de la Dynamique. Le produit de la masse de la barre de musculation par son accélération maximale mesurée par le GymAware fournit cette donnée.

Analyses statistiques

Le logiciel R a été utilisé pour l'analyse statistique. Le test de normalité de Shapiro-Wilk a révélé que la distribution des données suivait une loi normale dans les deux groupes. Les variables dépendantes analysées sont : la force maximale, la vitesse maximale et la puissance maximale développées à chaque pourcentage de la 1 RM testée (30%, 50%, 60% et 80%). Une analyse de variance (ANOVA) à mesure répétées à deux facteurs a été réalisée. Le facteur « type d'entraînement » qui comporte deux modalités, EL et SE, permet de caractériser un effet inter-sujets (effet groupe). Le facteur « moment » qui comporte deux modalités, Pré et Post, permet de caractériser un effet intra sujets. La valeur du seuil de significativité est $P < 0,05$. Les valeurs de P comprises entre 0,05 et 0,1 caractéristiques de tendances seront également rapportées à titre informatif.

RESULTATS

Le tableau 1 représente les valeurs moyennes des forces (F), vitesses (V) et puissances (P) maximales développées par chaque groupe à 30% avant (Pré) et après (Post) le protocole d'entraînement. La puissance moyenne des deux groupes était significativement plus élevée à la fin du cycle d'entraînement de 6 semaines ($F = 5$, $P = 0,033$). Aucune différence significative ne caractérisait la force et la vitesse, même si des tendances pouvaient être notées ($F = 3,038$, $P = 0,092$ pour F30 et $F = 2,959$, $P = 0,096$ pour V30). Il n'y avait pas d'interaction groupe-moment.

Tableau 1 : Valeurs moyennes de force (F), vitesse (V) et puissance (P) maximales à 30% RM

Groupe	Moment	F30	V30	P30
		(Moyenne ± écart-type)	(Moyenne ± écart-type)	(Moyenne ± écart-type)
EL	Pré	670.934 ± 79.638	2.064 ± 0.252	1390.974 ± 267.485 [§]
	Post	717.799 ± 72.424	2.174 ± 0.215	1562.323 ± 237.06
SE	Pré	663.143 ± 88.509	2.003 ± 0.157	1328.606 ± 215.343 [§]
	Post	716.35 ± 83.378	2.145 ± 0.195	1539.323 ± 243.793

Les valeurs sont données en moyenne ± écart-type. [§] indique une différence significative entre les moments Pré et Post.

Les tableaux 2 et 3 illustrent les valeurs moyennes des forces (F), vitesses (V) et puissances (P) maximales développées par chaque groupe respectivement à 50% et 60% avant (Pré) et après (Post) le protocole d'entraînement. Aucun effet significatif n'était relevé pour ces deux pourcentages testés.

Tableau 2 : Valeurs moyennes de force (F), vitesse (V) et puissance (P) maximales à 50% RM

Groupe	Moment	F50	V50	P50
		(Moyenne ± écart-type)	(Moyenne ± écart-type)	(Moyenne ± écart-type)
EL	Pré	842.12 ± 100.16	1.453 ± 0.131	1225.205 ± 186.235
	Post	857.566 ± 92	1.471 ± 0.094	1260.771 ± 146.935
SE	Pré	846.463 ± 119.903	1.449 ± 0.133	1230.464 ± 238.840
	Post	860.462 ± 122.946	1.47 ± 0.158	1272.915 ± 279.644

Tableau 3 : Valeurs moyennes de force (F), vitesse (V) et puissance (P) maximales 60% RM

Groupe	Moment	F60	V60	P60
		(Moyenne ± écart-type)	(Moyenne ± écart-type)	(Moyenne ± écart-type)
EL	<i>Pré</i>	899.217 ± 124.654	1.189 ± 0.125	1073.512 ± 203.419
	<i>Post</i>	919.979 ± 114.293	1.216 ± 0.037	1117.619 ± 127.658
SE	<i>Pré</i>	900.676 ± 120.946	1.164 ± 0.145	1052.994 ± 225.604
	<i>Post</i>	928.418 ± 113.583	1.228 ± 0.138	1142.9 ± 214.7

Le tableau 4 rapporte les valeurs moyennes des forces (F), vitesses (V) et puissances (P) maximales développées par chaque groupe à 80%. Aucun effet significatif n'était relevé. Des tendances en faveur d'une augmentation de puissance entre le test pré-protocole et post-protocole pouvait néanmoins être notées (F = 2,961, P = 0,09632). Il en va de même pour la vitesse (F = 3,111, P = 0,08866).

Tableau 4 : Valeurs moyennes de force (F), vitesse (V) et puissance (P) maximales à 80% RM

Groupe	Moment	F80	V80	P80
		EL	<i>Pré</i>	1032.374 ± 121.347
	<i>Post</i>	1058.243 ± 135.743	0.793 ± 0.045	842.228 ± 143.455
SE	<i>Pré</i>	1025.195 ± 137.716	0.764 ± 0.131	782.262 ± 178.427
	<i>Post</i>	1064.627 ± 122.613	0.849 ± 0.125	903.085 ± 170.874

DISCUSSION

Les résultats indiquent des effets chroniques significatifs pour les deux modalités d'entraînement uniquement à 30% RM. Les deux groupes ont connu une augmentation de la puissance maximale développée à cette intensité de travail (P30), respectivement de 12,32% pour le groupe EL et de 15,86% pour le groupe SE. Pour toutes les autres intensités testées, aucune

différence significative entre les groupes et entre les moments n'a été observé que ce soit pour les valeurs de puissance, vitesse et force maximales. Ces adaptations obtenues sont bien représentatives de l'entraînement en puissance suivi et rejoignent celles des études précédentes à ce sujet. Tillin et Folland (2014) ont montré que les gains issus d'un cycle de 4 semaines d'entraînement étaient spécifiques aux stimuli mis en place. Ils ont comparé deux cycles d'entraînement, un en puissance avec intention de vitesse maximale et l'autre en force maximale. L'entraînement en puissance avec intention de vitesse a produit d'importantes améliorations de la force explosive (soit du RFD), mais pas de la force maximale. A l'inverse, l'entraînement en force a induit des améliorations marquées sur la force maximale mais pas sur le RFD. Ces deux cycles ont donc engendré des adaptations neuromusculaires différentes et spécifiques au type d'entraînement suivi. Dès 2002, McBride, Triplett-McBride, Davie et Newton ont mis en évidence ces effets spécifiques induits par différents cycles d'entraînement sur des athlètes entraînés. Ces chercheurs ont analysé deux protocoles d'entraînement différents de 8 semaines : un groupe basé sur des Jump Squat à 30% RM, un groupe à 80% RM et un groupe contrôle. Ils ont utilisé une méthodologie proche de l'étude ici mise en place. Ils ont évalué les paramètres de force, vitesse et puissance maximales développés par les sujets avant et après le cycle d'entraînement sur des Jump Squat à 30%, 55% et 80% ainsi que les performances de force maximale sur le squat, sur un test d'agilité et un sprint de 20 mètres. Le groupe à 30% a significativement augmenté ses performances de puissance et vitesse sur tous les types de Jump Squat, ses performances de force maximale et en sprint. Le groupe 80% a connu des améliorations significatives en force et puissance maximales à 55 et 80%, en force maximale sur le squat et sur le sprint. Cependant, le groupe 30% a connu des améliorations significativement plus marquées que le groupe 80% sur les sprints et, à l'inverse, le groupe 80% des améliorations plus marquées sur la force maximale.

L'entraînement en puissance avec charges légères induit donc des adaptations majeures sur les paramètres de vitesse maximale et l'entraînement avec charges lourdes des adaptations sur les paramètres de force maximale. Dans notre protocole, les athlètes ont travaillé sur la combinaison de charges lourdes et légères mais l'objectif était de développer le maximum de vitesse et puissance sur la charge légère.

D'après Cormie et al. [Partie 2] (2011), ce type d'entraînement avec charges légères influence la relation force / vitesse uniquement du côté de la vitesse et des hauts niveaux de vitesse. La courbe force / vitesse est donc moins concave ce qui rejoint les adaptations issues d'un entraînement en puissance mises en verve par Van Cutsem et al. Le RFD est augmenté grâce à des adaptations nerveuses et à une meilleure coordination intermusculaire. Ces adaptations sont spécifiques au pourcentage entraîné et les valeurs de force, vitesse et puissance sont augmentées à cette intensité de travail. C'est pourquoi nous constatons ici des améliorations significatives de la puissance (P30) et des tendances pour les paramètres de force (F30) et de vitesse (V30) à 30%. Pour Cormie et al. et pour Winchester et al. (2008), un entraînement en puissance induit uniquement des améliorations en puissance et non en force maximale. Ces propos sont nuancés par Balshaw, Massey, Maden-Wilkinson, Tillin et Folland (2016). Ils ont prouvé qu'un entraînement en puissance pouvait avoir un impact sur la force maximale, mais moins marquée qu'il peut l'être avec un entraînement en force maximale. Selon eux, les deux types d'entraînement engendrent des adaptations similaires au niveau nerveux (signal EMG) mais l'entraînement en force maximale impacte également le muscle (hypertrophie). Dans notre étude, les adaptations obtenues n'ont toutefois été significatives qu'en puissance. L'ajout de bandes élastiques n'a pas empêché l'apparition de ces adaptations ni engendré de gains supérieurs.

Bien que d'après Melchiorri et Rainoldi (2011) et Grosprêtre, Gimenez, Mourot et Coratella (2018), les résistances élastiques couplées aux charges traditionnelles fatiguent davantage au niveau neuromusculaire que de simples charges traditionnelles, les élastiques n'ont dans ce protocole pas engendré de fatigue trop importante. De même, une étude de Saeterbakken, Anderser, Kolnes, Fimland (2014) portant sur le squat a montré qu'il n'y avait pas d'effet des bandes élastiques sur l'activation des muscles du tronc et de majoration du travail sur les muscles ajusteurs et fixateurs. L'activation neuromusculaire est seulement plus importante dans les muscles sollicités (Melchiorri & Rainoldi). Le phénomène de potentiation (PAP) est donc apparu sur l'exercice léger dans les deux conditions (EL, SE). Plusieurs raisons justifient l'efficacité de ces deux modalités sur le développement chronique de la puissance. Tout d'abord, tous les sujets répondaient aux critères établis par Lim et Barley pour impulser un phénomène de PAP optimal, avec une force relative du haut du corps supérieure à 1,4 ($1 \text{ RM} > 1,4 \times \text{poids de corps}$). De plus, le choix d'utiliser une intensité de 85% RM et de réaliser simplement 3 répétitions s'est avéré opportun comme Chaouachi et al. l'ont précédemment démontré. Les sujets n'étaient pas à l'échec lors du pré-exercice qui a vraiment exercé un rôle d'exercice potentiateur et non d'exercice de force maximale. Il est donc logique de voir les paramètres de puissance être améliorés significativement qu'à 30% RM et simplement tendre à avoir été augmentés à 80% RM. Surtout, dans la modalité avec élastique (EL), l'intensité de 85% RM n'était retrouvée qu'en début et fin de mouvement, lorsque les sujets avaient les bras tendus. Sur tout le reste du mouvement, l'intensité était inférieure à 85% RM, elle diminuait progressivement jusqu'au point le plus bas puis réaugmentait jusqu'au point le plus haut en s'alignant avec la courbe de la force humaine. Par exemple, d'après le tableur créé par Sci-Sport, pour un sujet dont la force maximale (1 RM) est de 100 kg au développé-couché et pour fournir une résistance égale à 85% RM (soit 85 kg), le poids

de la barre doit être de 64 kg (et 21 kg issus des bandes élastiques ; 10,5 kg par bande). Lorsque la barre est au plus bas au moment de la transition excentrique – concentrique, les bandes élastiques sont plus relâchées et leur tension fournit une résistance en kilogramme beaucoup plus faible. La charge et la contrainte externe pour le sujet sont donc moins importantes. Ainsi, une intensité globalement inférieure avec élastique (EL) a induit les mêmes effets chroniques que sans élastique (SE) avec une charge généralement supérieure. En pratique, ce résultat constitue une grande avancée. La modalité avec élastique (EL) s'avère beaucoup moins contraignante sur le plan musculaire et ostéoarticulaire étant donné la plus faible charge externe. Dans le cadre d'un sport comme le rugby, l'utilisation des élastiques sur un cycle en contraste de charge peut avoir de grands avantages. Le rugby étant un sport d'opposition / contact à hautes demandes énergétiques, musculaires et ostéoarticulaires, la prévention des blessures et la prophylaxie constituent un élément majeur. Les séances de musculation ne doivent en aucun cas augmenter le risque de blessure des joueurs par l'ajout de fatigue trop importante. Grâce à cette méthode de contraste de charge avec élastique sur le pré-exercice, des gains en puissance significatifs, similaires à ceux obtenus avec des charges traditionnelles plus contraignantes, peuvent être réalisés. Le réel intérêt de l'étude et de ses résultats se trouvent donc ici. Ce type de séance et cycle peuvent être réalisés à n'importe quel moment de la saison, au cours d'un cycle de préparation ou bien dans une phase d'affûtage, à l'approche d'un match.

Cependant, pour encore majorer ces gains, il pourrait être intéressant de tester un cycle d'entraînement avec deux séances par semaine. La méthode pourrait consister à réaliser une première séance (en début de semaine) avec charges traditionnelles et la seconde (à l'approche du match) avec résistance élastique afin de gérer au mieux le niveau de fatigue des sportifs et optimiser les effets du cycle d'entraînement. De plus, il aurait pu être judicieux dans cette étude

et dans les prochaines à venir d'ajouter une évaluation du ressenti des sujets après chaque séance (de type RPE en référence à C. Foster, 1998) pour attester que l'ajout d'élastique est bien moins contraignant. Enfin, une des avancées à mettre en place dans les futures années est l'utilisation d'un contraste de charge sur un même mouvement comme impulsé par Stevenson et al. (2010). L'idéal serait de faire la phase excentrique d'un mouvement avec élastique et une charge élevée et la phase concentrique sans élastique avec une charge allégée. Cette méthode permettrait d'optimiser les deux phases du mouvement, avec une phase excentrique très exigeante à l'activation musculaire maximale et une phase concentrique à la possibilité d'accélération et vitesse maximale.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de voir si l'utilisation de bandes élastiques sur un pré-exercice lourd au sein d'un cycle de contraste de charge engendrait plus d'adaptations et de gains en puissance qu'un cycle avec charges traditionnelles. Cette hypothèse de départ n'a pas été soutenue et la PAP n'a pas été accentué avec les bandes élastiques. Cette étude a toutefois montré des adaptations similaires entre les deux programmes d'entraînement avec une augmentation significative de la puissance maximale développée à 30% RM sur le développé-couché. Ce résultat s'avère intéressant étant donné que le pré-exercice lourd avec élastique possédait une intensité globalement plus faible que le pré-exercice sans élastique avec charges traditionnelles. L'utilisation de bandes élastiques fournit donc moins de charges externes mais des adaptations internes identiques aux charges traditionnelles plus lourdes et plus contraignantes au niveau musculaire et ostéoarticulaire. Cette étude constitue une avancée dans le monde de

l'entraînement en démontrant l'efficacité d'un cycle en contraste de charge combinant résistance élastique sur le pré-exercice et charges traditionnelles sur l'exercice léger avec qu'une seule séance par semaine sur des sportifs de haut niveau.

BIBLIOGRAPHIE

Baker D. (2003). Acute effect of alternating heavy and light resistances on power output during upper-body complex power training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 493–497.

Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maden-Wilkinson, T. M., Tillin, N. A., Folland, J. P. (2016). Training-specific functional, neural, and hypertrophic adaptations to explosive- vs. sustained-contraction strength training. *Journal of applied physiology*, 120(11), 1364-1374.

Baudry, S., & Duchateau, J. (2007). Postactivation potentiation in a human muscle : effect on the rate of torque development of tetanic and voluntary isometric contractions. *Journal of applied physiology*, 102(4), 1394-1401.

Bevan, H. R., Owen, N. J., Cunningham, D. J., Kingsley, M. I. C., Kilduff, L. P. (2009). Complex training in professional rugby players: influence of recovery time on upper-body power output. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1780–1785.

Carter, J., & Greenwood, M. (2014). Complex Training Reexamined: Review and Recommendations to Improve Strength and Power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36 (2), 11-19.

Chaouachi, A., Poulos, N., Abed, F., Turki, O., Brughelli, M., Chamari, K., Drinkwater, E. J., Behm, D. G. (2011). Volume, intensity, and timing of muscle power potentiation are variable. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 36(5), 736-747.

Chiu, L. Z., Frey, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E., Smith, S. L. (2003). Postactivation Potentiation Response in Athletic and Recreationally Trained Individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 671-677.

Comyns, T. M., Harrison, A. J., Hennessy, L. K., Jensen, R. L. (2006). The optimal complex training rest interval for athletes from anaerobic sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 471-476.

Cormie, P., McGuigan, M., Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power : Part 1 – Biological basis of maximal power production. *Sports Medicine*, 41(1), 17-36.

Cormie, P., McGuigan, M., Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power : Part 2 – Training Considerations for Improving Maximal Power Production. *Sports Medicine*, 41(2), 125-146.

Docherty, D., & Hodgson, M.J. (2007). The Application of Postactivation Potentiation to Elite Sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2, 439-444.

Duthie, G. M., Young, W. B., Aitken, D. A. (2002). The acute effects of heavy loads on jump squat performance : An evaluation of the complex and contrast methods of power development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(4), 530–538.

Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercices*, 30(7), 1164-1168.

Ghigiarelli, J. (2006). *The Effects of a 7-wk Heavy Elastic Band and Weighted Chain Program on Upper Body Strenght and Upper Body Power in a Sample of Division 1-AA Football Players*. [En ligne]. Thèse doctorat : School of Education, University of Pittsburgh.

Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., Stastny, P. (2016). Optimizing Post Activation Potentiation for Explosive Activities in Competitive Sports. *Journal of Human Kinetics*, 52, 95-106.

Gossen, E. R., & Sale, D. G. (2000). Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. *European Journal of Applied Physiology*, 83(6), 524-530.

Grosprêtre, S., Gimenez, P., Mourot, L., Coratella, G. (2018). Elastic band exercise induces greater neuromuscular fatigue than phasic isometric contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*.

Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics*, 11(4), 67-84.

Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of applied physiology*, 88(6), 2131-2137.

Hodgson, M., Docherty, D., Robbins, D. (2005). Post-Activation Potentiation : underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585-595.

Israetel, M. A., McBride, J. M., Nuzzo, J., Skinner, J. W., Dayne, A. M. (2010). Kinetic and Kinematic Differences Between Squats Performed With and Without Elastic Bands. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (1), 190-194.

Jensen, R. L., & Ebben, W. P. (2003). Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(2), 345-349.

Joy, J. M., Lowery, R. P., Oliveira de Souza, E., Wilson, J. M. (2016). Elastic Bands as a Component of Periodized Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (8), 2100-2106.

Juarez, D., Gonzalez Rave, J. M., Navarro, F. (2009). Effects of complex vs non complex training programs on lower body maximum strength and power. *Isokinetics and Exercise Science*, 17, 233-241.

Hrysomallis, C., Kidgell D. (2001). Effect of Heavy Dynamic Resistance Exercise on Acute Upper-Body Power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(4), 426-430.

Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., Hore, A. M., Maw, J. R., Cunningham, D. J. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players : optimal recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1134-1138.

Lim, J. J. H., & Barley, C. I. (2016). Complex Training for Power Development : Practical Applications for Program Design. *Strength and Conditioning Journal*, 38 (6), 33-43.

Liossis, L. D., Forsyth, J., Liossis, C., Tsolakis, C. (2013). The Acute Effect of Upper-Body Complex Training on Power Output of Martial Art Athletes as Measured by the Bench Press Throw Exercise. *Journal of Human Kinetics*, 39, 167-175.

Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N. A., Duchateau, J. (2016). Rate of force development : physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091-1116.

Mahlfeld, K., Franke, J., Awiszus, F. (2004). Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle Nerve*, 29(4), 597-600.

Matthews, M., O'Conchuir, C., Comfort, P. (2009). The Acute Effects of Heavy and Light Resistances on the Flight Time of a Basketball Push Pass During Upper Body Complex Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (7), 1988-1995.

McBride, J.M., Triplett-McBride, T., Davie, A., Newton, R.U. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 75-82.

McMaster, D. T., Cronin, J., McGuigan, M. (2009). Forms of variable resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31, 50-64.

Melchiorri, G., Rainoldi, A. (2011). Muscle fatigue induced by two different resistances: Elastic tubing versus weight machines. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(6), 954-959.

Mina, M. A., Blazevich, A. J., Giakas, G., Kay, A. D. (2014). Influence of Variable Resistance Loading on Subsequent Free Weight Maximal Back Squat Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28 (10), 2988-2995.

Mina, M. A., Blazevich, A. J., Tsatalas, T., Giakas, G., Seitz, L. B., Kay, A. D. (2019). Variable, but not free-weight, Resistance Back Squat Exercise Potentiates Jump Performance following a Comprehensive Task-specific Warm-up. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(3), 380-392.

Rivière, M., Louit, L., Strokosch, A., Seitz, L. B. (2017). Variable Resistance Training Promotes Greater Strength and Power Adaptations than Traditional Resistance Training in Elite Youth Rugby League Player. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 947-955.

Rixon, K. P., Lamont, H. S., Bemben, M. G. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation experience. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 500-505.

Saeterbakken, A.H., Anderser, V., Kolnes, M.K., Fimland, M.S. (2014). Effects of Replacing Free Weights with Elastic Band Resistance in Squats on Trunk Muscle Activation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28 (11), 3056-3062.

Santos, E. J., & Janeira, M. (2008). Effects of complex training on explosive strength in adolescent male basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 903–909.

Schneiker, K. T., Fyfe, J. J., Billaut, F., Bishop, D. J. (2018). Power-to-Strength Ratio Influences Performance Enhancement with Contrast Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(7), 1422-1432.

Seitz, L. B., de Villarreal, E. S., Haff, G. G. (2014). The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(3), 706–715.

Smilios, I., Piliandis, T., Sotiropoulos, K., Antonakis, M., Tokmakidis, S. P. (2005). Short-term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 135–139.

Soria-Gila, M. A., Chiroso, I. J., Bautista, I. J., Baena, S., Chiroso, L. J. (2015). Effects of variable resistance training on maximal strength : A meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11), 3260-3270.

Sotiropoulos, K., Smilios, I., Douda, H., Christou, M., Tokmakidis, S. P. (2014). Contrast Loading : Power Output and Rest Interval Effects on Neuromuscular Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 567-574.

Stasinaki, A. N., Gloumis, G., Spengos, K., Blazevich, A. J., Zaras, N., Georgiadis, G., Karampatsos, G., Terzis, G. (2015). Muscle Strength, Power, and Morphologic Adaptations After 6 Weeks of Compound vs. Complex Training in Healthy Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2559-2569.

Stevenson, M. W., Warpeha, J. M., Dietz, C. C., Giveans, R. M., Erdman, A. G. (2010). Acute Effects of Elastic Bands During the Free-Weight Barbell Back Squat Exercise on Velocity, Power, and Force Production. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (11), 2944-2954.

Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities. *Sports Medicine*, 39 (2), 147-166.

Van Cutsem, M., Duchateau, J., Hainau, K. (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *Journal of Physiology*, 513(1), 295-305.

Tillin, N. A. & Folland, J. P. (2014). Maximal and explosive strength training elicit distinct neuromuscular adaptations, specific to the training stimulus. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 365-374.

Wallace, B. J., Bergstrom, H. C., Butterfiel, T. A. (2018). Muscular bases and mechanisms of variable resistance training efficacy. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13(6), 1177-1188.

Wilson, J. M., & Kritz, M. (2014). Practical Guidelines and Considerations for the Use of Elastic Bands in Strength and Conditioning. *Strength and Conditioning Journal*, 36(5), 1-9.

Winchester J. B., McBride J. M., Maher M. A., Mikat R. P., Allen B. K., Kline D. E., McGuigan M. R. (2008). Eight weeks of ballistic exercise improves power independently of changes in strength and muscle fiber type expression. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1728-1734.

Young, W. B., Jenner, A., Griffiths, K. (1998). Acute Enhancement of Power Performance From Heavy Load Squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 12(2), 82-84.

ABSTRACT :

The purpose of this study was to investigate the long term effects of complex power training programs (heavy / light loads) on the upper body performed with two different modalities : with elastic bands (EL) or traditional résistances (SE). 16 young elite rugby players (mean age = 19,5 ± 1,5 ans) followed this training program for 6 weeks with 1 session and 4 sets per week. They were divided in two groups : EL groupe (3 x 85% RM with 25% provided from elastic bands + 5 x 30% RM), SE group (3 x 85% RM + 5 x 30% RM). Maximum strength, speed and power tests were performed by each subject at different intensities (30%, 50%, 60%, 80% RM) and measured at two distinct moments (Pre and Post-protocole). Results showed a significant maximum power increase for both groups at the end of the training program only at 30% RM (F = 5, P = 0,033). No significant differences were found for other intensities. In conclusion, these two training modalities seem to be effective to reach the power adaptations. However, the elastic modality gives more interesting data because the intensity during the heavy pre-exercice was overall lower than the heavy pre-exercice with traditional resistances. Consequently, the use of elastic bands provides less external loads, muscular and osteoarticular demands, but identical internal adaptations than traditional résistances which establish a progress in training knowledges.

KEYWORDS : Complex training - elastic bands – power - long term effects

EFFETS CHRONIQUES EN PUISSANCE SUR LE HAUT DU CORPS D'UN PROGRAMME
D'ENTRAÎNEMENT DE TYPE CONTRASTE DE CHARGE LOURD-LEGER AVEC BANDES
ELASTIQUES VS CHARGES TRADITIONNELLES CHEZ DES SPORTIFS DE HAUT NIVEAU

Collège Sciences Sociales et Humanités

STAPS

Spécialité : EPPM

RESUME : Le but de cette étude est d'évaluer les effets chroniques sur le développement de la puissance d'un programme d'entraînement de type contraste de charge lourd-léger utilisant des bandes élastiques (EL) par rapport à un programme utilisant des charges traditionnelles (SE). 16 jeunes joueurs de rugby de haut niveau (âge moyen = $19,5 \pm 1,5$ ans) ont suivi ce programme pendant 6 semaines avec une séance et quatre séries par semaine sur l'exercice du développé-couché. Ils ont été divisés en deux groupes : groupe EL (3 x 85% RM dont 25% fourni par bandes élastiques + 5 x 30%), groupe SE (3 x 85% RM + 5 x 30%). Les performances de force, vitesse et puissance maximales développées par chaque sujet à différents pourcentages de la 1 RM (30%, 50%, 60% et 80%) ont été mesurées à deux moments distincts (Pré et Post-protocole). Les résultats montrent une puissance maximale moyenne des deux groupes significativement plus élevée à la fin du cycle d'entraînement uniquement à 30% RM ($F = 5, P = 0,033$). Aucune différence significative n'a été relevée aux autres pourcentages étudiés. Ainsi, ces deux modalités d'entraînement sont efficaces pour atteindre les adaptations visées en puissance. Cependant, la modalité avec élastique fournit des données plus intéressantes étant donné que le pré-exercice lourd avec élastique possédait une intensité globalement plus faible. L'utilisation de bandes élastiques engendre donc des adaptations internes identiques aux charges traditionnelles, plus contraignantes au niveau musculaire et ostéoarticulaire, ce qui constitue une avancée dans le monde de l'entraînement.

MOTS-CLES : Contraste de charge - bandes élastiques – puissance – adaptations chroniques